

ANÁLISE DE ESTABILIDADE E RECALQUES DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE – ESTUDO DE CASO

Ricardo Cerutti (1), Adailton Antônio dos Santos (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)cerutti_r@yahoo.com.br, (2)adailton@unesc.net

Resumo

O acelerado desenvolvimento presenciado no Brasil traz diversas consequências à qualidade de projetos e obras, em todas as áreas da engenharia. No âmbito geotécnico, isso reflete na utilização de correlações para determinar parâmetros de resistência utilizados em projeto. É de consenso no meio técnico, que não se deve utilizar correlações em projetos geotécnicos, porém, em se tratando da única alternativa disponível, o projetista pode recorrer às mesmas, desde que representem as características do solo em estudo. Nesse contexto, este trabalho pretende analisar a influência dos resultados de resistência ao cisalhamento do solo¹, obtidos por meio de ensaios laboratoriais e correlações, através do dimensionamento de um aterro sobre o solo mole localizado no Lote 28 da BR 101, trecho Sul, no segmento compreendido entre os km 22+200 ao km 24+400. Para isso, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas e procederam-se os ensaios para determinação do C_u do solo, ensaios de caracterização física, para determinação do C_u através de correlações e análise dos valores obtidos por Valerim (2010) empregado pelo mesmo na correlação com base no NSPT. Os ensaios apontaram valores de C_u baixos, explicados pelas características do solo da região e observou-se que os valores obtidos através das correlações variaram bastante comparados aos de laboratório, atingindo cifras de 206% maiores para o NSPT e 20% menores para o Índice de Liquidez (IL). Devido aos valores baixos de resistência ao cisalhamento, o dimensionamento do aterro só pôde ser idealizado, fazendo-se uso de poliestireno expandido (EPS) em seu núcleo e reforço com geogrelha. Comparando-se o valor da execução do aterro por quilômetro, utilizando-se os dimensionamentos obtidos com base no dado real e no correlacionado com o IL, chegou-se que o segundo apresenta um custo aproximado 4% maior em relação ao primeiro. Evidencia-se com esse estudo que correlações com *Standard Penetration Test* (SPT) não são recomendadas para aplicação em solos moles, devido à falta de sensibilidade. O valor obtido da correlação com o índice de liquidez se aproxima do valor real de coesão, porém, com algum conservadorismo.

Palavras-Chave: Correlações. Coesão não drenada. EPS.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico de um país está intimamente associado à capacidade de escoamento da produção. Para que isso ocorra é importante uma infraestrutura adequada. A ocorrência de solos moles confere grandes obstáculos para a engenharia rodoviária no sul de Santa Catarina, cuja área em estudo apresenta

¹ Para argilas saturadas o único parâmetro de resistência ao cisalhamento do solo considerado em projeto é a coesão não drenada (C_u).

essa característica. Para projetos nestes locais faz-se necessário estudos, detalhados, sobre o comportamento do solo, quanto às propriedades de resistência ao cisalhamento e compressibilidade.

A utilização de correlações, para determinação de parâmetros do solo, é habitualmente utilizada por projetistas, esta prática atribui-se devido à praticidade que elas oferecem e/ou em diversos casos ainda, pelo desconhecimento da forma correta de obtenção dos mesmos. Através de correlações determinam-se, rapidamente, parâmetros que necessitariam de ensaios de grande duração, complexidade e que poucos laboratórios estão equipados para determiná-los.

Entretanto, correlações são geralmente generalistas, não se adequando perfeitamente a todos os tipos de solo. Neste contexto, pretende-se avaliar a aplicabilidade de duas correlações para o solo em estudo e comparar o resultado com o dado obtido pelo do ensaio específico para determinação do C_u .

Valerim Jr. (2010), utilizando-se da correlação para determinação do C_u através do *Standart Penetration Test*, dimensionou um aterro rodoviário verificando-o quanto à estabilidade global. Este estudo pretende, com base nos parâmetros determinados por meio de ensaios de resistência à compressão simples (RCS^2) e correlação com o IL, fazer a avaliação do aterro proposto por Valerim Jr. (2010), quanto a estabilidade global, dimensionar um aterro com base nos dados obtidos das outras formas, analisando-os técnico-economicamente, e verificar o comportamento de recalques no talude dimensionado com dado obtido através de ensaio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com ampla pesquisa bibliográfica buscou-se embasamento teórico para os temas abordados no presente trabalho. Após este embasamento teórico, reuniu-se material referente à geologia, possibilitando a caracterização geológica regional e local. Levantaram-se as informações necessárias referentes ao projeto da BR 101, no segmento compreendido entre os km 22+200 ao km 24+400.

Coletaram-se amostras deformadas e indeformadas do solo no trecho citado acima e realizaram-se ensaios de caracterização física, compressibilidade e resistência ao cisalhamento do mesmo.

De posse dos dados referentes à caracterização física realizaram-se correlações, para

² Em argilas saturadas pode-se determina o valor de C_u através da equação $C_u = 0,5 \cdot RCS$

determinação do C_u solo em estudo.

Com base nos parâmetros determinados por meio de ensaios de resistência à compressão simples (RCS) e correlações fez-se a avaliação e adequação, quando necessário, da solução proposta por Valerim Jr. (2010). As análises de estabilidade foram realizadas através do método de Spencer (1967) por meio do software Slide do Grupo Rocscience. Definida o dimensionamento e geometria, e de posse dos parâmetros de compressibilidade, analisou-se o comportamento do recalque do aterro e solo de fundação.

2.1 ÁREA EM ESTUDO

O solo objeto do estudo, localiza-se no Lote 28 da BR 101, trecho Sul, Rodovia BR 101/SC, sub-trecho Tijucas/SC Divisa SC/RS, no segmento compreendido entre os km 22+200 ao km 24+400, correspondendo às coordenadas UTM iniciais N=6.800.788,174 e E =549.690,882 e finais N=6.800.788,174 e E =549.690,882. A Figura 1 apresenta local de estudo e a disposição dos furos de sondagem.

Figura 1: Área em Estudo



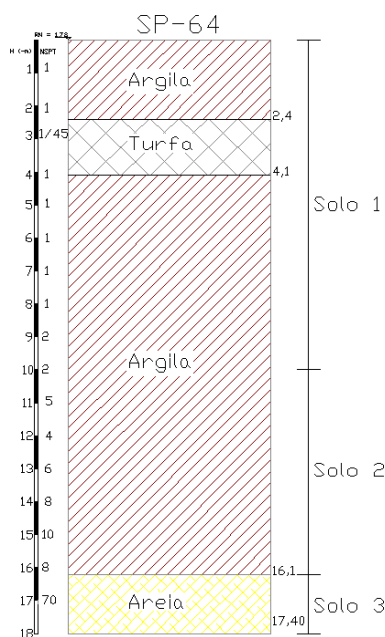
Fonte: Valerim Jr. (2010)

O trecho da BR 101 supracitado, conhecido como Banhado do Maracajá, é considerado do ponto de vista geológico, geotécnico e ecológico, um dos pontos mais complexos do projeto trecho sul. Caracteriza-se geologicamente por Depósitos Marinhos, representados por material predominantemente argiloso, marrom a avermelhada, e os Depósitos Aluvio/Lagunares, constituídos por argila arenosa cinza clara a escura, mole a muito mole.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO DE FUNDAÇÃO

Baseando-se no boletim de sondagem SP 64 realizada pela empresa SOTEP, também utilizado por Valerim Jr. (2010), elaborou-se um perfil de cálculo subdividindo-se o solo em três categorias, de acordo com o NSPT (Figura 2).

Figura 2: Perfil de Cálculo Adotado



Fonte: Ricardo Cerutti

O boletim apresenta valores de NSPT variando de 0 a 2 golpes (solo muito mole) até a cota -10,0 m, denominado solo 1; aumentando a partir daí para 4 a 10 golpes (mole a média) até a cota -16,1, denominado solo 2; finalmente a última camada apresenta uma areia com NSPT=70 (muito compacta), denominada solo 3.

Para uma caracterização mais apurada, bem como, extração dos parâmetros físicos e de resistência ao cisalhamento do solo de fundação necessários à pesquisa, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas similares ao solo 1, nas proximidades do furo SP 64.

2.2.1 Determinação dos Parâmetros Físicos

Realizaram-se ensaios de caracterização física e densidade real dos grãos no Laboratório de Mecânica dos Solos e Resíduos Sólidos da UNESC/IDT, com o intuito de determinar a classificação *Transportation Research Board* (TRB) do solo e extrair

parâmetros importantes para utilização nas correlações. Os ensaios basearam-se nos procedimentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas. (Tabela 1)

Tabela 1: Normas utilizadas para caracterização física

ENSAIOS	NORMA ABNT
Granulometria por Peneiramento	NBR 7181/84
Limite de Liquidez	NBR 6459/84
Limite de Plasticidade	NBR 7180/84
Densidade Real dos Grãos	NBR 8632/84

Fonte: Ricardo Cerutti

Os resultados dos ensaios encontram-se resumidos na Tabela 2:

Tabela 2: Resultado dos ensaios físicos e classificação TRB

AMOSTRA	LL	LP	IP	IL	CLASSIFICAÇÃO TRB
01	43	27	17	6,53	A-7-6
02	58	36	21	4,58	A-7-5
03	48	29	19	5,42	A-7-6
MÉDIA =				5,51	

Fonte: Ricardo Cerutti

2.2.2 Determinação dos Parâmetros de Resistência

a) Ensaio de resistência à compressão simples não confinada (RCS):

Realizaram-se três ensaios de RCS no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina, através de amostras indeformadas, segundo a ABNT NBR 12770/92. Os resultados podem ser observados na Tabela 3:

Tabela 3: Resultado dos ensaios de RCS

AMOSTRA	γ_{nat} (kN/m ³)	C_u (kPa)	φ (°)
01	13,70	6,48	0
02	13,80	5,64	0
03	13,90	5,33	0
MÉDIA	13,80	5,82	0

Fonte: Ricardo Cerutti

b) Correlações com os índices físicos do solo:

A equação utilizada para determinação do C_u , foi proposta por Bjerrum e Simons (1960) *apud* Das 2007, e está apresentada abaixo:

$$\frac{C_u}{\sigma'_{0}} = 0,18 \times IL^{0,15} \quad \text{para } IL > 0,5 \quad (1)$$

Em que: $IL = IL_{\text{médio}}$ = Índice de liquidez

σ'_0 = Tensão geostática inicial

A correlação adotada para a análise leva em consideração, além das características físicas do solo (IL), a tensão efetiva encontrada *in situ*³, dessa forma o aumento da coesão não drenada se apresenta crescente ao passo que as tensões efetivas aumentam.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos através de correlações.

Tabela 4: Resultado obtido de C_u por profundidade

PROFUNDIDADE (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	σ'_o (kN/m ²)	C_u (kPa)	ϕ (°)
1	13,80	3,80	0,88	0
2		7,60	1,77	
3		11,40	2,65	
4		15,20	3,53	
5		19,00	4,42	
6		22,80	5,30	
7		26,60	6,18	
8		30,40	7,07	
9		34,20	7,95	
10		38,00	8,84	
MÉDIA	13,80		4,86	0

Fonte: Ricardo Cerutti

c) Pesquisa de Valerim Jr. (2010):

Valerim Jr. (2010) utilizou a correlação com NSPT sugerida por BOWLES (1979) *apud in* GUSMÃO FILHO (2008), valores constantes na Tabela 5.

Tabela 5: Resultado da Pesquisa de Valerim Jr. (2010)

AMOSTRA	NSPT _{médio}	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C_u (kPa)	ϕ (°)
SOLO1	0,96	16,00	16,00	12,00	0
SOLO2	2	16,00	16,00	25,00	0

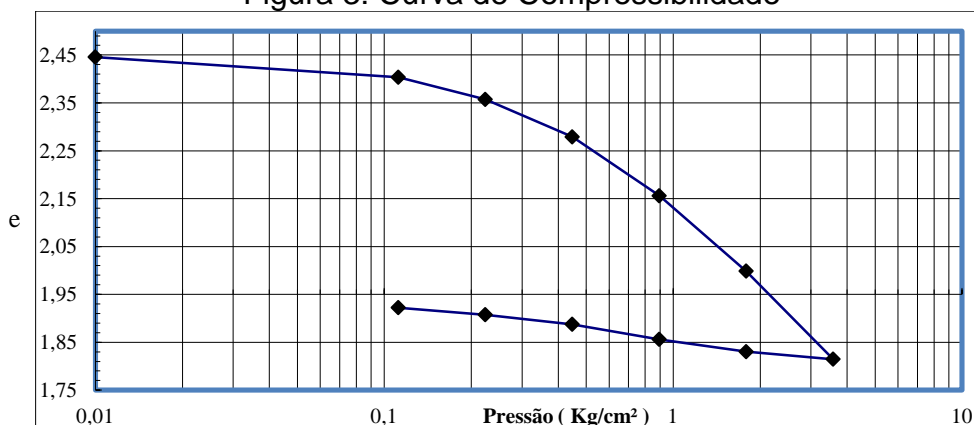
Fonte: Valerim Jr. (2010)

2.2.3 Parâmetros de Compressibilidade

Para determinação dos parâmetros de compressibilidade, realizaram-se dois ensaios de adensamento unidirecional no LMS, baseados nos procedimentos normativos da NBR 12007 – Mb 3336/90. A curva utilizada no estudo de recalques está representa na Figura 3.

³ A tensão geostática, gerada pelo maciço de solo e/ou sobrecargas sobre o ponto em estudo.

Figura 3: Curva de Compressibilidade



Fonte: Ricardo Cerutti

2.3 ANÁLISE DA ESTABILIDADE

A análise da estabilidade do aterro foi realizada através do método de Spencer (1967) e adotou-se um $FS_{adm} \geq 1,300$, devido ao aterro possuir mais de 3,00 m de altura e não estar próximo a estruturas sensíveis, segundo DNER PRO381/98.

2.3.1 Considerações de Cálculo para o Solo de Fundação

Adotar-se-á para o solo 1, no caso de dados obtidos através de ensaio, a média dos resultados. Para a análise através de correlações se utilizará a média dos valores de coesão calculados para cada profundidade. Para o solo 2, os parâmetros utilizados serão os mesmos adotados para o solo 2 da pesquisa de Valerim Jr. (2010).

A Tabela 5 traz os valores de cálculo adotados:

Tabela 6: Parâmetros geotécnicos do solo de fundação

	MATERIAL	γ_{nat} (kN/m³)	C_u (kPa)	φ (°)
DADO DE ENSAIO	Solo 1	13,80	5,82	0,00
	Solo 2	16,00	25,00	0,00
DADO CORRELACIONADO	Solo 1	13,80	4,86	0,00
	Solo 2	16,00	25,00	0,00

Fonte: Ricardo Cerutti

2.3.2 Considerações de Cálculo para o Aterro e o Pavimento

O aterro será constituído de areia e EPS em seu núcleo, com uma camada externa de argila para o confinamento e o selamento da areia. A altura total do aterro será de 4,14 m e inclinação 1:1,5.

A seção-tipo de pavimentação utilizada nas análises foi a mesma utilizada na BR101, constituída de sub-base de macadame com 20 cm de espessura, base de brita graduada com 15 cm e CBUQ com espessura de 16 cm, totalizando 51 cm.

Simulando o tráfego sobre o pavimento, foi estipulado sobrecarga de 20 kN/m.

A Tabela 6 traz os parâmetros dos materiais empregados no aterro e pavimento:

Tabela 7: Parâmetros geotécnicos do aterro e pavimento

MATERIAL	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (°)
Pavimento	21,00	21,00	0,00	45,00
Argila	20,00	20,00	12,00	0,00
Areia	19,80	21,20	0,00	35,00
EPS	0,20	0,00	145,00	0,00

Fonte: Ricardo Cerutti

Foram atendidas as especificações para utilização do EPS, respeitando a altura de solo mínima entre o pavimento e o EPS, de 60 cm. Na base considerou-se a deposição de 1,04 m de areia, para assegurar o EPS contra o contanto com a água, o que ocasionaria uma sub-presão e impossibilitando a execução.

2.4 ANÁLISE DA COMPRESSIBILIDADE DO SOLO

O aumento de tensões na superfície do solo, devido às sobrecargas provenientes de estruturas apoiadas sobre o mesmo, leva-o deformações denominadas de recalques. Segundo Das (2007), o recalque se dá em três etapas distintas: recalque elástico, por adensamento primário e compressão secundária. A última não será abordada no presente trabalho por não apresentarem influências significativas no valor total das deformações.

2.4.1 Considerações de Cálculo para o Recalque Elástico

Para o cálculo do recalque elástico ocasionado pelo aterro, utilizou-se a equação (2), encontrada em PINTO (2002).

$$\rho = I \times \frac{\sigma_0 \times B}{E} \times (1 - v^2) \quad (2)$$

Em que, σ_0 = pressão uniformemente distribuída na superfície;

E = módulo de elasticidade;

v = coeficiente de Poisson;

B = a largura (ou diâmetro) da área carregada;

I = coeficiente que leva em conta a forma da superfície carregada.

Os parâmetros utilizados nessa análise foram extraídos de Das (2007, p. 246), e levam em consideração a compactidade do solo, conforme tabela 7:

Tabela 8: Parâmetros utilizados para o cálculo do recalque elástico

MATERIAL	I (Centro – Canto)	E (kN/m ²)	ν
Camada Arenosa 1	4,01 – 2,00	35.000 – 70.000	0,40 – 0,45
Camada Arenosa 2	3,57 – 1,80	35.000 – 70.000	0,40 – 0,45

Fonte: Ricardo Cerutti

Na Tabela 7, os valores de E e ν da esquerda foram utilizados para a primeira etapa (construção), e os da direita para segunda etapa (liberação do tráfego).

Não será considerado recalque elástico no solo de fundação, visto que o mesmo encontra-se saturado, resultando em comportamento unicamente de adensamento.

2.4.2 Considerações de Cálculo para o Recalque por Adensamento Primário

O Cálculo do recalque por adensamento baseia-se na curva de compressibilidade (Figura 3), dela podemos extrair os dados necessários às posteriores análises.

A equação utilizada para o cálculo do recalque por adensamento baseia-se na equação proposta pela MB 3336 descrita abaixo:

$$\Delta h = \left(\frac{H_i}{1 + e_i} \right) \times H \quad (3)$$

Em que: e_i = índice de vazios inicial;

H_i = índice de vazios final;

H = espessura da camada de argila.

É importante salientar que a espessura da camada de argila considerada para a análise de adensamento restringiu-se ao solo 1 (10,0 m), pois a partir desse ponto, o solo não apresenta mais características de solo muito mole, resultando em índices de vazios e comportamento tensão-deformação diferentes. O acréscimo de carga ocasionada pelo aterro foi calculado conforme a teoria do cálculo de tensões e o cálculo da tensão geostática inicial baseou-se no peso específico natural obtido no ensaio de RCS.

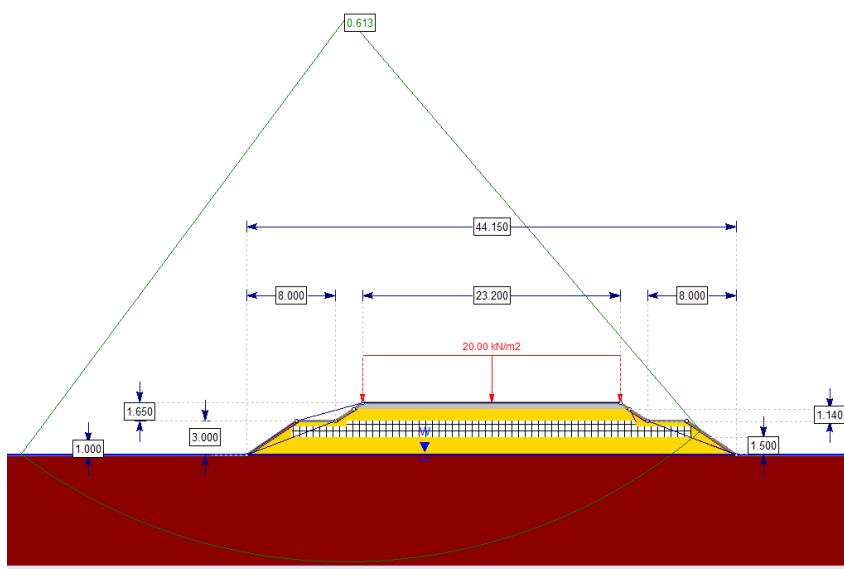
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO DO ATERRO PROPOSTO POR VALERIM JR. (2010)

A representação gráfica da seção utilizada para a análise de estabilidade é composta pela cor branca (EPS), amarela (areia), marrom (camada confinante de argila) e cinza (pavimento). Abaixo da seção observa-se o solo 1 e 2.

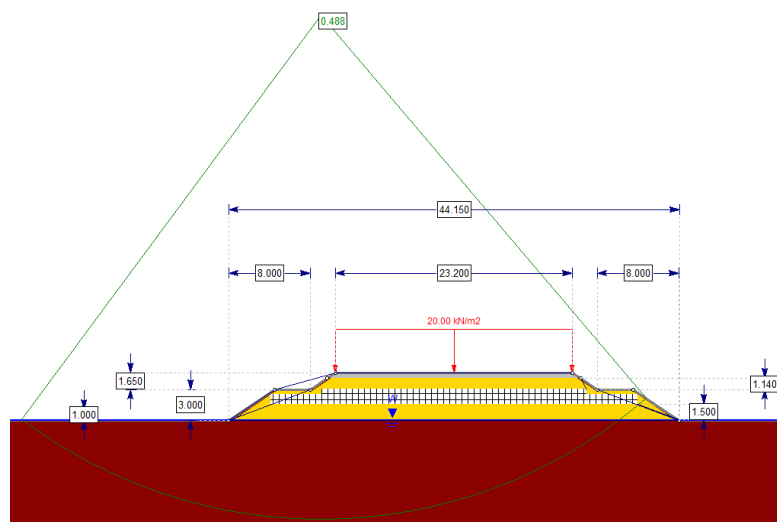
As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, o FS do aterro atingido utilizando parâmetros do solo de ensaios e de correlações, com nível de água a 0,00 m, sendo essa a situação crítica do nível de água, comprovado por Valerim Jr. (2010).

Figura 4: Dado de Ensaio - Spencer - $FS_{\min} = 0,613$



Fonte: Ricardo Cerutti

Figura 5: Dado Correlacionado - Spencer - $FS_{\min} = 0,488$



Fonte: Ricardo Cerutti

Os FS_{\min} (0,613 e 0,488), obtidos nas análises demonstram que a solução proposta por Valerim Jr. (2010), romperia caso fosse implantada, logo, faz-se necessário a readequação da mesma, a fim de atender o FS_{\min} para aterro classe II (1,300).

3.2 SOLUÇÕES PARA VIABILIZAR A CONSTRUÇÃO DO ATERRO

Devido à ocorrência de solos muito moles e com baixa capacidade de suporte, para a viabilização da construção, necessitou-se de uma combinação de soluções.

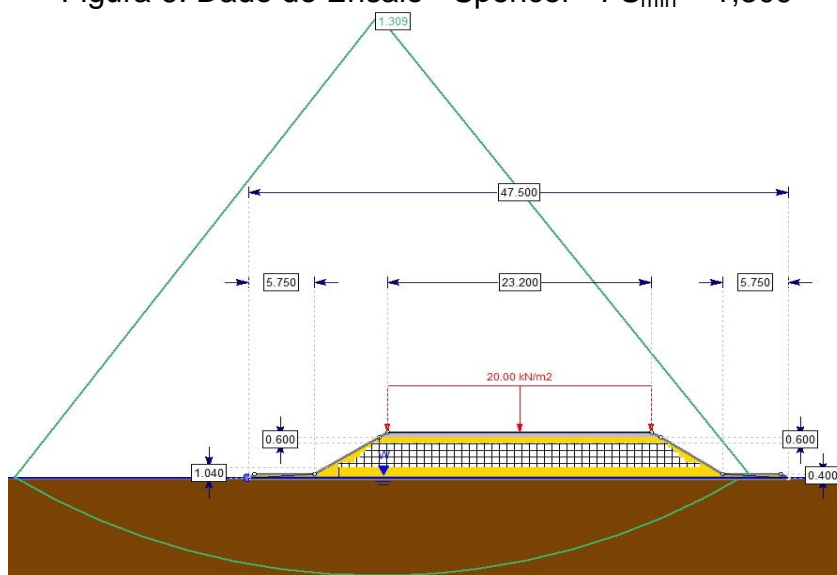
Adotou-se como solução reforço do solo de fundação através de geogrelha tecida de 600kN/m, construção de bermas de equilíbrio e substituição do corpo do aterro por material de baixa densidade (EPS). Na interface entre o solo de fundação e o material de aterro considerou-se um geossintético sem resistência à tração, com o intuito de bloquear a perda de material para a fundação.

Realizaram-se diversas análises, adotando-se a mais satisfatória dimensionada com base em parâmetros de C_u , obtidos através de ensaios laboratoriais e através de correlações com o IL.

3.2.1 Solução com Base em Dados Obtidos Através de Ensaios

Percebeu-se a necessidade de construção de 5,75 m de bermas de equilíbrio com altura de 0,40 cm para promover um $FS_{\min} = 1,309$, portanto, aceitável para a classe de aterro II. (Figura 6) através de correlaç

Figura 6: Dado de Ensaio - Spencer - $FS_{\min} = 1,309$



Fonte: Ricardo Cerutti

O aterro apresenta viabilidade de construção, visto que as bermas de equilíbrio não possuem grandes dimensões, ficando dentro da faixa de domínio da rodovia, que é de 30,0 m para cada lado a partir do eixo.

O orçamento para implantação considerou custos de material e mão de obra de acordo com o sistema SICRO2, de informações proposta pelo consórcio Construcap-Modern-Ferreira Guedes e da Maccaferri. A tabela 8 traz a discriminação dos custos.

Tabela 9: Orçamento para implantação do aterro

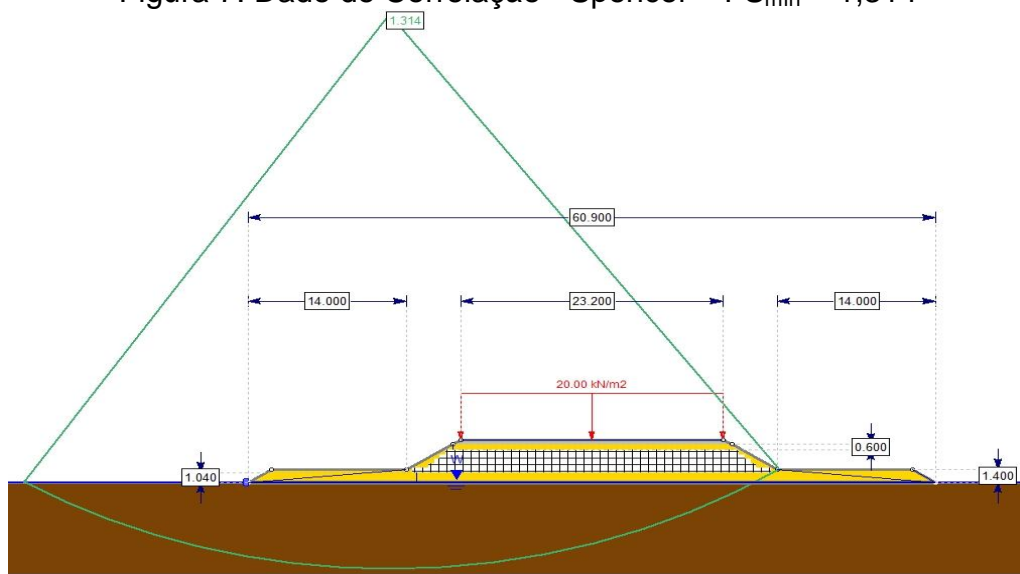
Produto	Unidade/m	Quant.	Preço Unitário	Reajuste (%)	Custo/Km
Areia	m ³	56570	R\$ 16,00	4	R\$ 905.120,00
Argila	m ³	4640	R\$ 3,00	4	R\$ 13.920,00
Eps	m ³	71000	R\$ 353,19	4	R\$ 25.076.490,00
Geotêxtil	m ²	47500	R\$ 2,51	4	R\$ 256.020,00
Polietileno	m ²	69000	R\$ 2,00	4	R\$ 138.000,00
Geogrelha 600 kN/m	m ²	47500	R\$ 84,50	-	R\$ 3.961.360,00
Pavimento	m ³	12220	R\$ 148,27	4	R\$ 1.811.859,40
TOTAL =					R\$ 32.259.624,18

Fonte: Ricardo Cerutti

3.2.2 Solução com Base em Dados Obtidos Através de Correlações com IL

O aterro dimensionado, utilizando parâmetros correlacionados para o solo de fundação, apresentou com bermas de equilíbrio de 14,0 m um $FS_{\min} = 1,314$. O mesmo apresenta-se com possibilidade de implantação, pois as bermas ultrapassam 0,45 m a faixa de domínio, não provocando assim grandes desapropriações às margens da rodovia. A análise está ilustrada pela Figura 7.

Figura 7: Dado de Correlação - Spencer – $FS_{\min} = 1,314$



Fonte: Ricardo Cerutti

A Tabela 9 apresenta o orçamento para implantação do aterro, considerando-se custos de material e mão de obra analogamente a situação anterior.

Tabela 10: Orçamento para implantação do aterro

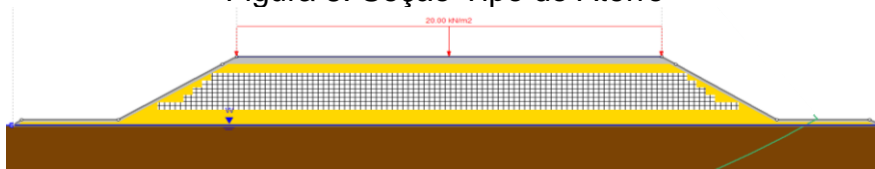
Produto	Unidade	Quant.	Preço Unitário	Reajuste (%)	Custo/Km
Areia	m ³	83070	R\$ 16,00	4	R\$ 1.329.120,00
Argila	m ³	7240	R\$ 3,00	4	R\$ 21.720,00
Eps	m ³	71000	R\$ 353,19	4	R\$ 25.076.490,00
Geotêxtil	m ²	60900	R\$ 2,51	4	R\$ 152.859,00
Polietileno	m ²	69000	R\$ 2,00	4	R\$ 138.000,00
Geogrelha 600kN/m	m ²	60900	R\$ 84,50	-	R\$ 5.146.050,00
Pavimento	m ³	12220	R\$ 148,27	4	R\$ 1.811.859,40
TOTAL =					R\$ 33.435.015,54

Fonte: Ricardo Cerutti

3.3 ANÁLISE DO RECALQUE IMEDIATO DO ATERRO

O recalque imediato varia com a tensão atuante, logo, o recalque no centro do aterro alcança valores superiores aos das extremidades, chegando a praticamente 0 (zero) nas bermas. Considerou-se o recalque elástico no centro e bordas do aterro principal, ocorrendo sobre o EPS (primeira camada arenosa) e na base, sobre o solo saturado (segunda camada arenosa), conforme Figura 8:

Figura 8: Seção-Tipo do Aterro



Fonte: Ricardo Cerutti

A Tabela 10 resume os valores de recalque calculados:

Tabela 11: Resultados dos Recalques Elásticos

Camada	Extremidade Esquerda	Centro	Extremidade Direita
1	2,25	4,51	2,25
2	5,07	10,05	5,07
TOTAL (cm)	7,32	14,56	7,32

Fonte: Ricardo Cerutti

3.4 ANÁLISE DO RECALQUE POR ADENSAMENTO DO SOLO DE FUNDAÇÃO

O cálculo do recalque do solo inicia-se com a determinação da tensão geostática inicial e o incremento de tensão causado pelo aterro. Para tal, faz-se necessário o

cálculo da propagação de tensões até a profundidade de 5,00 m, cota intermediária, e a divisão do aterro em seções. Após as determinações preliminares aplica-se a equação (2) e calculam-se os recalques em cada estaca. Os cálculos de tensões e os dados extraídos da curva de compressibilidade estão na Tabela 11.

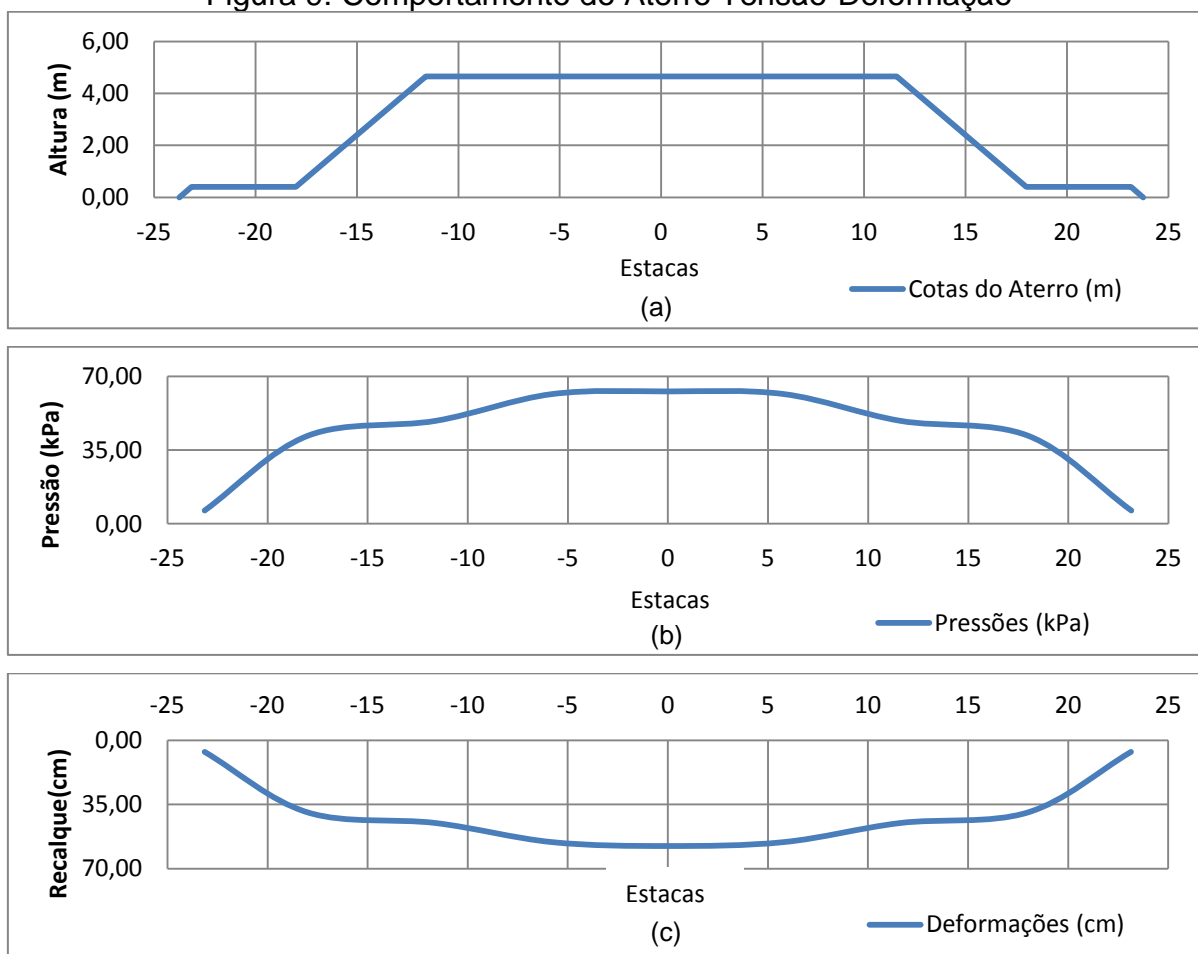
Tabela 12: Cálculo do recalque por adensamento

	Distância da linha do centro do aterro (m)				
Estaca	0	5,8	11,6	18	23,15
e_i	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
e_f	2,16	2,181	2,216	2,238	2,342
p_i	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Δp	62,73	61,46	41,81	41,7	6,31
p_f	81,73	80,46	67,81	60,70	25,31
Recalque (cm) = $\Delta h = \left(\frac{e_i - e_f}{1 + e_i} \right) \times H$	62,31	58,46	45,70	39,17	8,31

Fonte: Ricardo Cerutti

A Figura 9 ilustra: (a) o aterro, (b) os valores de tensão propagados até a profundidade de 5,00 m e (c) os recalques ao longo da camada.

Figura 9: Comportamento do Aterro Tensão-Deformação



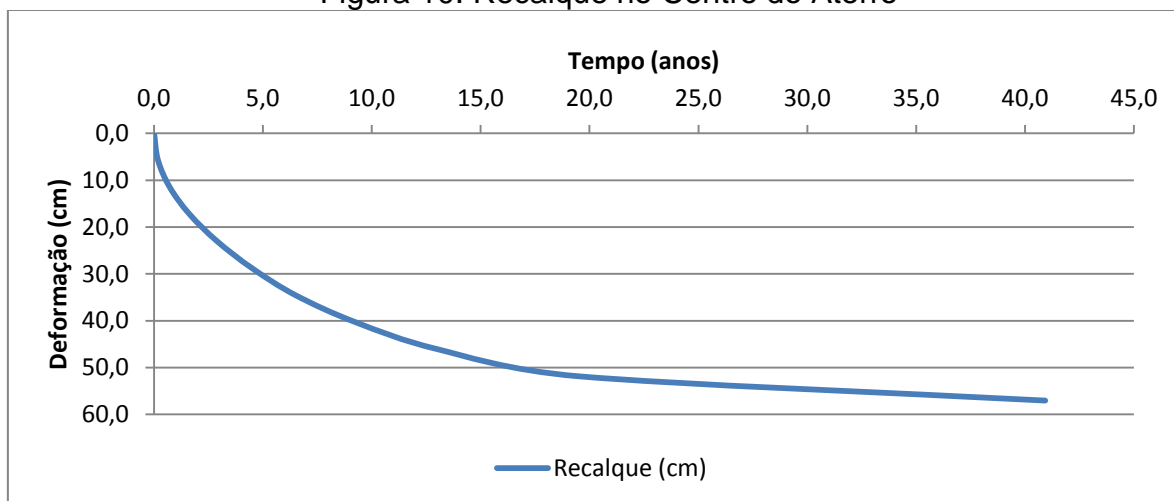
Fonte: Ricardo Cerutti

Pode-se perceber a diminuição dos recalques nas extremidades do aterro, consequência da diminuição da pressão (altura do aterro).

3.4.1 Previsão do Tempo de Recalque

A evolução dos recalques com o tempo pode ser expressa pela Figura 10.

Figura 10: Recalque no Centro do Aterro



Fonte: Ricardo Cerutti

3.5 CÁLCULO DOS RECALQUES TOTAIS

O recalque total para o aterro em estudo se dá a partir da soma dos recalques imediatos e recalques por adensamento. A Tabela 12 apresenta um resumo dos recalques e a soma dos mesmos no aterro, as bermas de equilíbrio não serão consideradas por não prejudicarem funcionalidade da rodovia.

Tabela 12: Recalques Totais

Recalque	Extremidade Esquerda	Centro	Extremidade Direita
Elástico	7,32	14,56	7,32
Adensamento	45,70	62,31	45,70
TOTAL (cm)	53,02	76,87	53,02

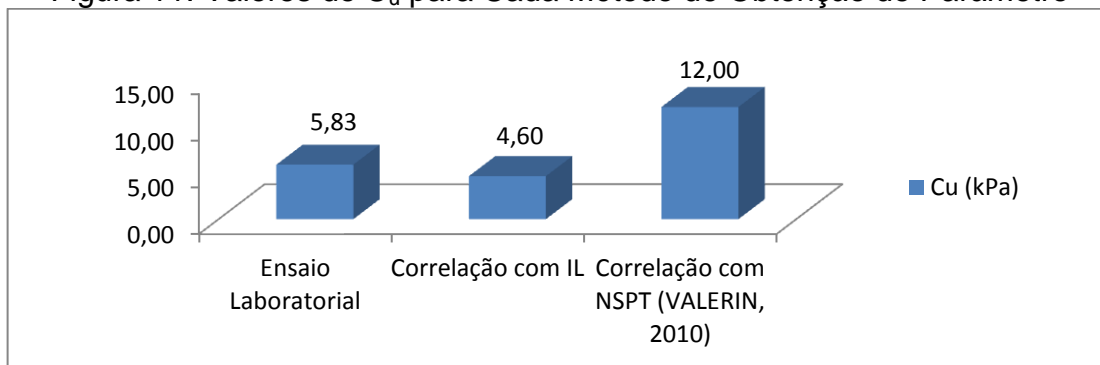
Fonte: Ricardo Cerutti

O recalque imediato igual a 14,56 cm ocorre durante a execução, restando o recalque por adensamento que precisa ser acompanhado para recomposição periodicamente até o final do tempo de adensamento.

3.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VALOR E FORMA DE OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO

Analisando-se os valores de C_u obtidos por diferentes métodos nesse estudo nota-se grande discrepância, como pode ser visto na Figura 11:

Figura 11: Valores de C_u para Cada Método de Obtenção de Parâmetro



Fonte: Ricardo Cerutti

O valor de 5,83 obtido em laboratório é considerado geotecnicaamente muito baixo, entretanto, é explicado pelas características do solo.

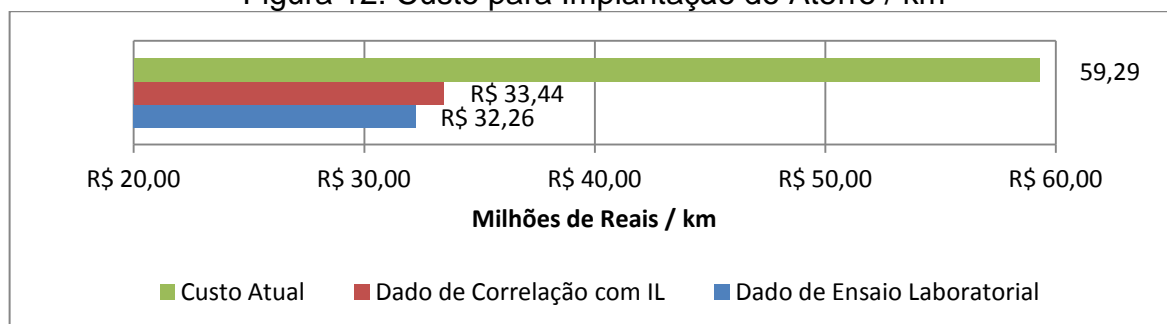
A correlação com o índice de liquidez se aproxima do valor real de coesão, porém, com algum conservadorismo. Esta correlação torna-se aplicável apenas em solos normalmente adensados, visto que depende da tensão geostática do solo sem levar em consideração a tensão de pré-adensamento. O valor reduzido encontrado através da correlação com o IL pode ser explicado pela amostra representativa do solo em estudo apresentar tensão de pré adensamento de 36 kPa.

O valor de C_u obtido através da correlação com NSPT apresentou valor maior que o dado obtido através do ensaio de RCS.

3.7 CUSTO/BENEFÍCIO DA FORMA DE OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS

Realizou-se o dimensionamento e orçamento de uma solução passível de construção, utilizando-se dados para o solo de fundação, obtidos através de ensaios laboratoriais e através de correlações com o IL. A Figura 12 mostra os custos para cada solução e o valor de implantação do projeto atual.

Figura 12: Custo para Implantação do Aterro / km



Fonte: Ricardo Cerutti

O orçamento da obra dimensionada por Valerim Jr. (2010) não será comparado, visto que a solução adotada pelo autor, não possui viabilidade de construção.

Observa-se um custo maior de construção na obra dimensionada com base no parâmetro de resistência correlacionado. Esta constatação é lógica, visto que o valor de C_u obtido através da correlação com o IL é menor, necessitando de melhoramentos mais acentuados.

4 CONCLUSÕES

Através da elaboração do presente estudo avaliou-se o aterro proposto por Valerim Jr. (2010) e chegou-se a conclusão que não há viabilidade para a construção do mesmo, devido à correlação utilizada superestimar o valor de C_u adotado para o dimensionamento.

A análise dos valores evidencia que correlações com *Standard Penetration Test* não são recomendadas para aplicação em solos moles, devido à falta de sensibilidade e precisão que o mesmo oferece. Observam-se valores 206,19% maiores que o valor real obtido em laboratório, demonstrando que a relação feita, por diversos autores, atribuindo valor de C_u de 10 kPa/golpe, não se aplica para o solo em estudo.

A correlação com o IL aproxima-se mais da realidade, produzindo um custo de obra 3,53% maiores que o aterro dimensionado a partir do dado real, contudo não se recomenda utilização da correlação sem prévio conhecimento sobre o estado de tensões encontrados *in situ*.

O aterro dimensionado com base no dado real apresentou maior viabilidade econômica, visto que o custo de implantação por quilômetro representa 54,41% do valor praticado hoje e, ainda, os recalques estimados foram aceitáveis para a rodovia, não representando problema à implantação do mesmo, fato que mostra a

importância de uma investigação geotécnica adequada. As investigações geotécnicas tem custo insignificante perante a obra e garantem um dado confiável ao projetista.

Finalmente conclui-se, que o presente trabalho vem a confirmar o exposto por Valerim Jr. (2010), demonstrando que no momento atual, a solução técnica e econômica mais adequada pra o desvio, a ser implantado no Lote 28, é o aterro com núcleo de EPS, reforçado com geogrelha, e não o Elevado. Assim, recomenda-se estudos futuros sobre a aplicabilidade de EPS em trechos longos.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT): **NBR 6459:**

Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR-7180:** Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR-7181:** Analise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **MB-3336:** Ensaio de Adensamento Unidirecional. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR-12770:** Solo Coesivo: Compressão não Confinada. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR-8632:** Carvão Mineral: Determinação da Densidade Relativa Real. Rio de Janeiro, 1984.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** São Paulo: Thomson, 2007. 561 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 353 p.

VALERIM JUNIOR, Valdir. **Análise e dimensionamento de um Aterro Sobre Solos Moles – Lote 28 – BR 101 – SUL: Estudo de Caso,** 2010, 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense.